

Efecto del plomo sobre la imbibición, germinación y crecimiento de *Phaseolus vulgaris* L. y *Zea mays* L.

Gustavo Isaza Guzmán

Universidad del Valle Sede Pacífico. Buenaventura, Valle del Cauca, Colombia. e-mail: gustavo.isaza@correounivalle.edu.co

RESUMEN

El plomo es altamente reactivo y consecuentemente puede ser tóxico para las células vivas de plantas y humanos. Este metal pesado es un contaminante para el ambiente ya que altera los ciclos naturales. El presente estudio tuvo como propósito, determinar el efecto del plomo en los procesos de imbibición, germinación y crecimiento en el frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y el maíz (*Zea mays* L.). Se empleó un sistema compuesto por recipientes inundados para exponer las plantas al metal. La concentración de 5 g l⁻¹ de plomo afectó el proceso de imbibición en ambos cultivos, aunque fue más notorio en el frijol. El porcentaje de germinación se redujo en el frijol pero no se afectó en las semillas de maíz. El crecimiento de los órganos de raíz, tallo y hoja en ambas especies en presencia de plomo se redujo.

Palabras clave: estrés, fitoremediación, metales pesados, sustancias tóxicas.

Effect of lead on imbibition, germination, and growth of *Phaseolus vulgaris* L. and *Zea mays* L.

ABSTRACT

Lead is highly reactive and it can be consequently toxic to living cells to both plants and humans. This heavy metal is a source of contamination to the environment and it disrupts natural cycles. The present study was aimed to evaluate the effect of lead on the imbibition process, germination and growth in the bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and maize (*Zea mays* L.). It was developed a system consisting of receptacles to expose flooded plants at different concentrations of the metal. Results showed that at concentrations of 5 g l⁻¹ lead imbibition process was affected, but was more evident in bean. Germination percentage was not affected in maize seeds, while viability was affected in bean seeds. We observed statistically that there is an effect on organ growth of root, stem and leaf in both species in the presence of solution whose effect is most noticeable in bean plants.

Key words: heavy metals, phytoremediation, stress, toxic substances.

INTRODUCCIÓN

El plomo es uno de los principales contaminantes ambientales, la exposición a este metal pesado aun a bajas concentraciones, puede provocar efectos adversos a la salud humana (Martínez *et al.*, 2012). Este elemento químico tiene la capacidad de formar sales, las cuales en un momento dado pueden convertirse en una fuente potencial de contaminación.

Para el manejo de desperdicios formados por este elemento, se han propuesto metodologías tales como el uso de métodos *ex situ* que incluyen extracción y tratamiento por adsorción con carbón activado así como la utilización de microorganismos. Además, se emplean metodologías *in-situ* que involucran coagulación/floculación e intercambio iónico. Todas estas tecnologías implican un alto gasto de capital

económico tanto en operación como en mantenimiento (Susarla *et al.*, 2002; Foo *et al.*, 2009). Por otra parte, presentan algunas desventajas como son los requerimientos químicos, baja eficiencia y producción de cantidades considerables de subproductos que pueden ser también considerados como perjudiciales para el ambiente (Gupta *et al.*, 2011).

La fitoremediación es un método alternativo que utiliza plantas para eliminar sustancias tóxicas presentes en el suelo y en el agua, las cuales incluyen metales pesados, desechos químicos y contaminantes en general. Todo ello hace de esta tecnología una alternativa amigable y económica para el medio ambiente (Ali *et al.*, 2013; Cameselle *et al.*, 2013).

Los contaminantes presentes en el suelo y en el agua, pueden incluir metales pesados que ejercen

efectos adversos en las etapas de imbibición, germinación y crecimiento, de las plantas, alterando el proceso normal de desarrollo (Wierzbicka y Obidzińska, 1998; Guala *et al.*, 2010). Sus efectos, sobre las plantas dependerán del tiempo de exposición (ITRC, 2009). Por ello, se requiere verificar si la presencia de los elementos químicos tiene efectos negativos sobre las plantas.

Varios estudios sobre metales pesados en el cultivos de plantas, se han concentrado en la determinación de la presencia de dichos metales en las diferentes partes de las plantas, para conocer el perjuicio potencial que representan para la salud humana y animal (Lamhamdi *et al.*, 2011; Li *et al.*, 2012). Otros enfoques, han tratado la temática de la fitotoxicidad de estos metales a través de evaluar el efecto sobre el crecimiento y la germinación, para comprender la manera en que las plantas interaccionan con ellos y determinar el efecto perjudicial tanto para la planta, el consumidor y el ambiente (Massa *et al.*, 2010; Sainger *et al.*, 2011).

En este sentido, el presente estudio tuvo como propósito, determinar el efecto del plomo sobre los procesos de imbibición, germinación y crecimiento en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y maíz (*Zea mays* L.).

MATERIALES Y MÉTODOS

El presente estudio se llevó a cabo en el laboratorio de Biología de la Universidad del Valle Sede Pacífico (Buenaventura, Valle del Cauca, Colombia) y las pruebas de imbibición y germinación se realizaron en condiciones ambientales naturales con un promedio de temperatura de 28 °C y humedad relativa del 88%.

Material vegetal

Se emplearon semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y maíz (*Zea mays* L.) obtenidas en el comercio local, las semillas de maíz que se utilizaron fueron la variedad 'ICAV-109' y de frijol la variedad 'Cargamanto rojo'.

Efecto del plomo

Con el objetivo de determinar el efecto del plomo sobre las semillas de las dos especies en estudio se llevaron a cabo ensayos en las etapas de imbibición, germinación y crecimiento. Como fuente de plomo se empleó $Pb(NO_3)_2$. Además,

se empleó un sistema compuesto por recipientes inundados para exponer las plantas al metal (Figura 1).

Imbibición

Se expusieron semillas de cada especie (30 semillas por réplica, tres réplicas), en vasos de precipitado de 200 ml de capacidad con 150 ml de solución de nitrato de plomo (5 g l⁻¹). Como control se empleó de agua destilada en igual volumen (150 ml). En cada tratamiento las semillas se pesaron al inicio del experimento (masa fresca inicial, g) y cada 24 horas hasta encontrar una estabilización en el peso adquirido (masa fresca final, g). Esta prueba se realizó en cuatro oportunidades que se asumieron como repeticiones. Se comparó la masa fresca en cada tratamiento.

Germinación

Se empleó un procedimiento similar al descrito para la imbibición y en la misma cantidad de veces. Las soluciones permanecieron con un equipo aireador el cual suministró burbujas de aire a las solución con el fin de mantener el nivel de oxígeno presente y evitar la descomposición de las semillas, se observaron cada 24 horas, hasta que cada primordio radical tuviese 5 milímetros de longitud. Se cuantificó el número de semillas germinadas y se calculó el porcentaje de germinación.

Crecimiento

Posterior a la germinación, de cada especie se tomaron plantas para determinar el efecto del plomo en el crecimiento. Para ello, se expusieron a diferentes concentraciones de nitrato de plomo (0.1, 1.0 y 10 g l⁻¹) (seleccionadas en base a experimentos preliminares, datos no mostrados). Además, se incluyó un control, en cuya solución no se adicionaron componentes con plomo. Como soporte nutricional se colocó solución Hoagland de acuerdo con el protocolo sugerido por Kilinc *et al.* (2007), en un volumen por tratamiento de 20 l, el pH se mantuvo entre 6-7 adicionando NaOH o HCl de acuerdo con el caso. A las plantas se les midió la longitud de la raíz, tallo y hojas (cm) (Li) y fueron colocadas sobre arena previamente esterilizada (por calor húmedo) en un contenedor. En este mediante una motobomba se hizo circular las soluciones que se aplicaron por aspersión a las plantas (Figura 1).

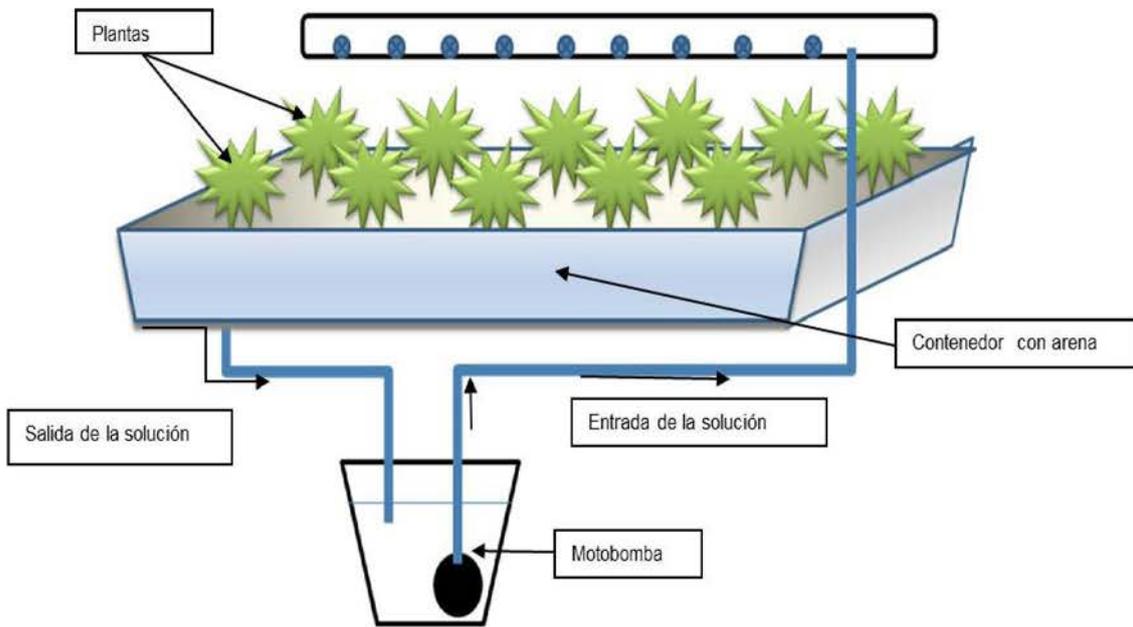
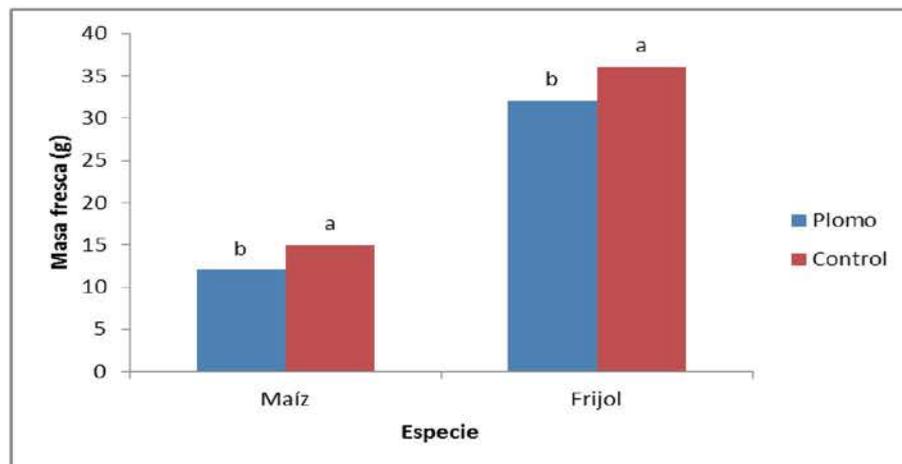


Figura 1. Esquema de sistema diseñado para aplicación de solución con plomo a plantas de frijol y maíz.



Letras distintas sobre barras en cada especie indican diferencias entre los rangos para $p < 0.05$ según la prueba de Kruskal Wallis.

Figura 2. Efecto del nitrato de plomo en la imbibición de semillas de maíz (*Zea mays*) después de cuatro días y de semillas de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) después de cinco días tratadas con solución de nitrato de plomo (5 g l^{-1}) ($n=30$).

A los 30 días de cultivo se midió la longitud de raíz, tallo y hoja (cm) y se calculó la longitud final (Lf) al restar las medidas iniciales (Li).

El diseño experimental estuvo compuesto por un diseño en bloques al azar con cuatro tratamientos y tres réplicas. Las unidades experimentales estuvieron compuestas por 30 plántulas cada una.

Análisis estadístico

Los datos se registraron en hoja de cálculo para su posterior análisis estadístico entre los diferentes tipos de tratamientos mediante un análisis de varianza y su posterior comparación de medias utilizando la prueba de Kruskal Wallis. Para el análisis estadístico se usó el programa Statistix para Windows 2.0.

RESULTADOS

Efecto del plomo

En ambas especies (frijol y maíz) se evidenció una reducción de la imbibición en las semillas expuestas a las soluciones de plomo en comparación con el control (Figura 2). Al cabo del tercer día, el efecto del plomo redujo la adsorción de agua, siendo más evidente para las plantas de maíz que en las de frijol (Figura 3).

En la germinación de las semillas de maíz, no se observaron diferencias significativas entre las plantas expuestas a la solución de nitrato

de plomo y el tratamiento control. Contrario a lo anterior, en frijol donde se redujo significativamente el porcentaje de germinación ($p < 0.05$) en presencia de este compuesto químico.

De igual forma se constató que la presencia de plomo en la solución nutritiva suministrada a las plantas afectó su crecimiento y esto se relacionó con la concentración (Figura 4).

El crecimiento de la hoja en las plantas de maíz, fue el órgano que reflejó una mayor afectación mientras que en frijol, el tallo es el órgano que presentó dicho efecto.

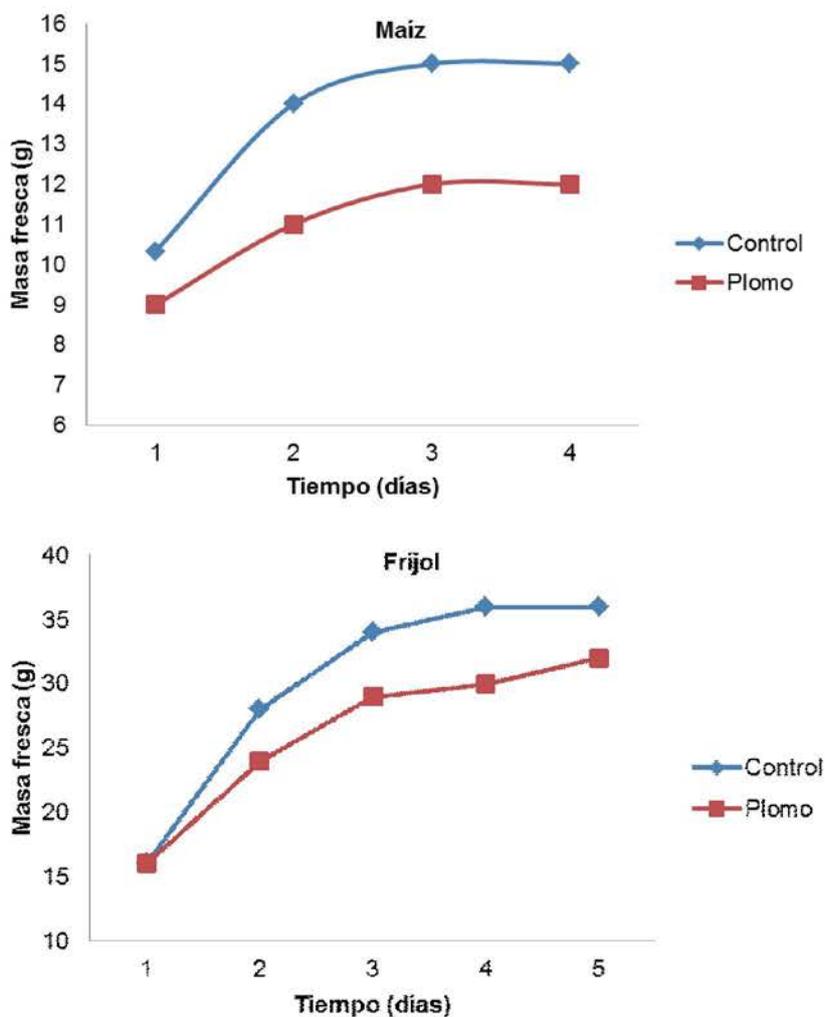
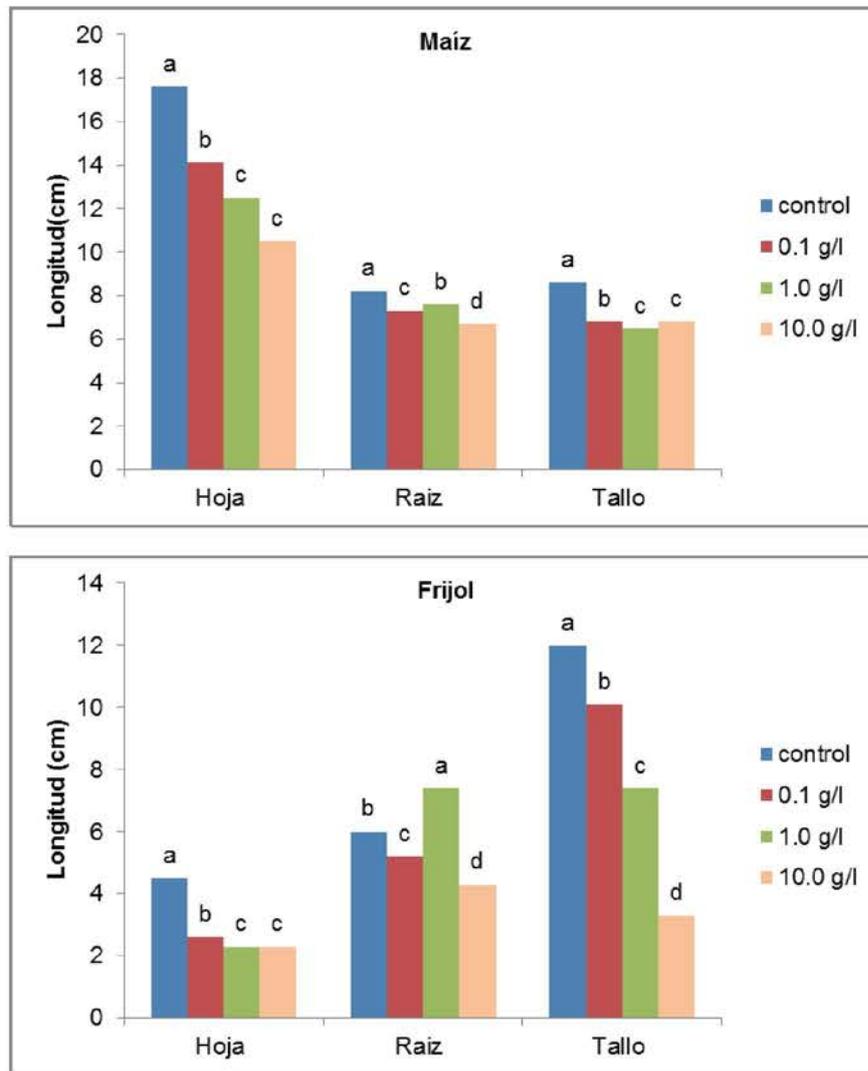


Figura 3. Dinámica del proceso de imbibición de semillas de maíz (*Zea mays*) y frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) tratadas con solución de nitrato de plomo (5 g l^{-1}) ($n=30$).



Letras diferentes sobre barras en cada grupo (hoja, raíz y tallo) indican diferencias entre los rangos según la prueba de Kruskal Wallis para $p < 0.05$.

Figura 4. Efecto del nitrato de plomo en el crecimiento de plantas de maíz (*Zea mays*) y de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) tratadas con solución de nitrato de plomo (5 g l⁻¹) (n=30).

DISCUSIÓN

Los resultados del estudio mostraron evidencias significativas del efecto del plomo en los procesos fisiológicos de imbibición, germinación y crecimiento en las dos especies estudiadas. La sensibilidad al plomo en el maíz fue demostrada igualmente en los trabajos de Geebelen *et al.* (2002) quienes sugirieron que el efecto de la concentración de plomo indujo un estrés oxidativo tanto en las raíces como en las hojas. Otros autores como Lamhamdi *et al.* (2011), refirieron que los efectos del plomo dependen de la concentración, el tipo de sal y

las propiedades del suelo, y el proceso que se afecta en gran medida es la germinación tomando como modelo de estudio el trigo (*Triticum aestivum*).

El proceso de imbibición presentó curvas similares a las informadas en trabajos realizados por Wierzbicka y Obidzińska (1998), los cuales analizaron el efecto del plomo en la imbibición y la germinación en diferentes especies de plantas incluidas maíz y frijol.

El patrón de las curvas obtenidos presentan una forma similar a la de una función

logarítmica del tipo $f(x) = A \log(x) + B$ en la cual A y B son constantes. De acuerdo con estos resultados, se sugiere que el proceso de imbibición sigue el modelo de Lucas–Washburn (Saguy *et al.*, 2005).

La germinación de ambas especies se vio afectada por la presencia de plomo, con efectos mayores en frijol que en maíz.

Los resultados observados en este estudio mostraron que el plomo, en general limita el crecimiento de ambas especies, siendo mayor sobre el frijol. En este sentido, Brennan y Shelley (1999) demostraron que el proceso de absorción y de entrada de metales en el maíz se realiza vía simplástica en la raíz, pasando hacia el tallo por los tejidos xilemáticos hasta llegar a la hoja, donde puede regresar a la raíz vía floema. De acuerdo con el modelo planteado, se asume la precipitación del plomo en forma Plomo-Fosfato, en el interior de los tejidos vegetales como uno de los principales mecanismos en este sistema de absorción. Otros autores como Malkowski *et al.* (2005) demostraron que la raíz es el órgano donde se acumula el plomo, en forma de Plomo-Fosfato, dado que este estimula el engrosamiento de la pared celular.

Los resultados sobre el efecto del plomo en los procesos fisiológicos de imbibición, germinación y crecimiento del frijol, mostraron que esta especie es más sensible en las respuestas de desarrollo que el maíz, especialmente a concentraciones altas del metal. Los resultados sugieren para ambas especies que la alta concentración del metal indujo estrés fisiológico, resultados que concuerdan con lo referido por Geebelen *et al.* (2002) y Wang *et al.* (2007).

Los resultados obtenidos, permitieron determinar el efecto negativo del plomo sobre los procesos de imbibición, germinación y crecimiento en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) y maíz (*Zea mays* L.), lo cual podría ayudar a tomar decisiones cuando se desee sembrar estos cultivos en suelos agrícolas contaminados con este metal pesado.

CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados observados se concluye que la presencia de plomo afecta los

procesos fisiológicos en plantas como maíz y frijol y sus efectos se reflejan en los procesos de imbibición, germinación y crecimiento de órganos como las raíces, tallos y hojas. Además, a concentraciones bajas no se observó afectaciones en la viabilidad de estas plantas lo cual a la vez es preocupante por la posibilidad de la presencia de plomo en tejidos comestibles.

REFERENCIAS

- Ali, H, Khan E, Sajad MA (2013) Phytoremediation of heavy metals—Concepts and applications. *Chemosphere* 91: 869–881
- Brennan, MA, Shelley ML (1999) A model of the uptake, translocation, and accumulation of lead (Pb) by maize for the purpose of phytoextraction. *Ecological Engineering* 12 (4): 271–297
- Foo, KY, Hameed BH (2009) An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption. *Journal of Hazardous Materials* 171(1-3): 54–60
- Cameselle, C, Chirakkara RA, Reddy KR (2013) Electrokinetic-enhanced phytoremediation of soils: Status and opportunities. *Chemosphere* 93 (4): 626–636
- Geebelen, W, Vangronsvelda J, Adrianob D, Van Pouckec L, Clijstersa H (2002) Effects of Pb-EDTA and EDTA on oxidative stress reactions and mineral uptake in *Phaseolus vulgaris*. *Physiologia plantarum* 115 (3): 377–384
- Guala, SD, Vega FA, Covelo EF (2010) The dynamics of heavy metals in plant–soil interactions. *Ecological Modelling* 221: 1148–1152
- Gupta, VK, Agarwal S, Saleh TA (2011) Synthesis and characterization of alumina-coated carbon nanotubes and their application for lead removal. *Journal of Hazardous Materials* 185: 17–23
- ITRC (Interstate Technology & Regulatory Council) (2009) Phytotechnology Technical and Regulatory Guidance and Decision Trees, Revised. PHYTO-3. Washington, D.C.
- Kilinc, S, Ertan E, Seferoglu S (2007) Effects of different nutrient solution formulations on morphological and biochemical characteristics of nursery fig trees grown in substrate culture. *Scientia Horticulturae* 113 (1): 20–27
- Lamhamdi, M, Bakrim A, Aarab A, Lafont R, Sayah F (2011) Lead phytotoxicity on wheat (*Triticum aestivum* L.) seed germination and seedlings growth. *C. R. Biologies* 334:118–126

- Li, Q, Chen Y, Fu H, Cui Z, Shi L, Wang L, Liu Z (2012) Health risk of heavy metals in food crops grown on reclaimed tidal flat soil in the Pearl River Estuary, China. *Journal of Hazardous Materials* 227– 228: 148– 154
- Lonngi, PA, Ayala MD (2007) La física y sus modelos, las simulaciones como herramienta didáctica. *Rev. Cub. Física* 24 (1): 76-79
- Malkowski, E, Kurtyka R, Kita A, Karcz W (2005) Accumulation of Pb and Cd and its effect on Ca distribution in Maize seedlings. *Polish Journal of Environmental Studies* 14 (2): 203-207
- Martínez, RN, Feldman G, Granger S, Chain S, Soria N (2012) Intoxicación con plomo: evaluación clínica y estudios complementarios en niños. *Rev. Cienc. Salud*. 10 (Especial): 9-15
- Massa, N, Andreucci F, Poli M, Aceto M, Barbato R, Berta G (2010) Ecotoxicology and Environmental Safety. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 73: 1988–1997
- Redjala, T, Sterckeman T, Skiker S, Echevarria G (2010) Contribution of apoplast and symplast to short term nickel uptake by maize and *Leptoplax emarginata* roots. *Environ. Exp. Bot.* 68 (1): 99-106
- Saguay, IS, Marabi A, Wallach R (2005) Liquid imbibition during rehydration of dry porous foods. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 6 (1): 37– 43
- Sainger, PA, Dhankhar R, Sainger M, Kaushik A, Singh RP (2011) Assessment of heavy metal tolerance in native plant species from soils contaminated with electroplating effluent. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 74 2284–2291
- Susarla, S, Medina VF, McCutcheon SC (2002) Phytoremediation: An ecological solution to organic chemical contamination. *Ecological Engineering* 18 (5): 647–658
- Wang, H, Shan X, Wen B, Owens G, Fang J, Zhang S (2007) Effect of indole-3-acetic acid on lead accumulation in maize (*Zea mays L.*) seedlings and the relevant antioxidant response. *Environmental and Experimental Botany* 61 (3): 246-253
- Wierzbicka, M, Obidzińska J (1998) The effect of lead on seed imbibition and germination in different plant species. *Plant Science* 137 (2): 155–171

Recibido: 29-11-2012

Aceptado: 23-5-2013